

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

obor: HYDRAULICKÉ A PNEUMATICKÉ STROJE A ZAŘÍZENÍ

**Bakalářský projekt**

**Posouzení zařízení pro vysokotlaký ostřík okují z bramek při výrobě plechu.**

*Evaluation of High Pressure System for Slabs Descaling*

Vypracoval: Václav Daněk

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Drábková Sylva, Ph.D

**VŠB-TUO**

**2008/ 2009**

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě :.....

.....

podpis studenta

## **Anotace bakalářské práce**

Daněk, V. Posouzení zařízení pro vysokotlaký ostřík okují z bramek při výrobě plechu.

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, fakulta strojní, Vysoká škola báňská-  
Technická univerzita Ostrava, 2009, vedoucí Drábková, S.

Tato práce se zabývá posouzením zařízení pro vysokotlaký ostřík. Nejprve je zařízení popsáno a jsou vysvětleny základní pojmy. Následuje výběr vhodného čerpadla, porovnání a odběrové diagramy a výpočet tlakových ztrát v obvodu. Závěrem je posouzení vlivu zadaných změn ve studii na průběh ostříku oproti původnímu zadání.

## **Annotation of Bachelor Thesis**

Daněk, V. Evaluation of High Pressure System for Slabs Descaling. Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB-Technical University of Ostrava, 2009, head Drábková, S.

This bachelor thesis deals with investigation of high pressure system for slabs descaling. Firstly the basic concept of the system and its function are explained. Next part deals with selection of appropriate pump, definition of consumption diagrams and above all calculation of the pressure loss in hydraulic system. At the end the influence of proposed changes in the project on the operation of descaling system is discussed.

## Obsah:

<b>1. Úvod.....</b>	<b>6</b>
<b>2. Vysvětlení základních pojmů. ....</b>	<b>7</b>
2.1 Brama .....	7
2.2 Okuje .....	7
2.3 Odstranění okují .....	8
2.4 Příklad modernizace válcovací tratě plechů v a.s. Vítkovice Steel .....	10
<b>3. Řešení čerpacího systému. ....</b>	<b>11</b>
3.1 Řešení potrubních sítí.....	11
3.2 Rozdělení čerpadel .....	15
3.2.1 Hydrostatická čerpadla s kmitavým pohybem funkční části .....	17
3.2.2 Hydrodynamická čerpadla lopatková .....	18
<b>4. Nabídková studie .....</b>	<b>19</b>
4.1 Úvod: .....	19
4.2 Zadané údaje: .....	20
4.3 Popis zařízení:.....	20
4.4 Stanovení parametrů trysek, nádrží, čerpadel .....	21
4.5 Odběrový diagram vody .....	22
4.6 Popis funkce akustanice .....	22
<b>5. Návrh čerpadla .....</b>	<b>23</b>
5.1 Porovnání čerpadel a odběrových diagramů : .....	23
<b>6. Hydraulický výpočet sítě .....</b>	<b>34</b>
<b>7. Závěr: .....</b>	<b>38</b>
<b>8. Seznam použité literatury: .....</b>	<b>39</b>

## Seznam použitého značení:

$d$	průměr potrubí	[m]
$h$	geodetická výška uzlu	[m]
$H$	tlaková ztráta	[m]
$k$	absolutní drsnost potrubí	[m]
$l$	délka větve potrubí	[m]
$P$	příkon čerpadla	[kW]
$p$	tlak	[Pa]
$Q_I$	průtok okruhu I	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
$Q_{II}$	průtok okruhu II	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
$Q_v$	průtok větve potrubí	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
Re	Reynoldsovo číslo	[1]
$S$	průřez větve potrubí	[m <sup>2</sup> ]
$v$	rychlost proudění	[m.s <sup>-1</sup> ]
$l_e$	ekvivalentní délka	[m]
$\Delta p$	tlaková ztráta	[Pa]
$\nu$	kinematická viskozita	[m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]
$\lambda$	součinitel třecích ztrát	[1]
$\zeta$	součinitel místních ztrát	[1]

## 1. Úvod

Nejrozšířenější metodou odstraňování okují v průběhu výrobního procesu hutnického polotovaru je vysokotlaký ostřík vodním paprskem. Vysokotlaký vodní ostřík okují obvykle probíhá při tlakové úrovni 15 až 25 MPa. Ostříky jsou využívány při válcování plechů, trub, drátu a kolejnic. Při válcování plechu je jeho výsledná jakost dána kvalitou vstupního polotovaru i následným zpracováním. Při postupném průchodu válcovacími stolicemi musí být povrch rozvalku z obou stran očištěn tak, aby okuje vznikající na povrchu rozžhavené oceli nebyly zaválcovávány do materiálu. Toto očištění se vykonává v tzv. ostříkových boxech, umístěných v těsné blízkosti před válcovacími stolicemi. Jde o odstraňování okují stříkáním paprsků tlakové vody na horní i dolní plochu pohybujícího se rozvalku z řady horních a dolních trysek.

Úkolem této práce je posouzení odkujovacího zařízení. Zadání vychází ze zpracované nabídkové studie vysokotlaké hydraulické stanice a odkujovacího zařízení pro Válcovny plechu Frýdek – Místek z roku 1987. Ve zpracované studii byly navrženy parametry trysek, nádrží, čerpadel a také průměry potrubí. Při vlastní realizaci došlo ke změnám ve skladbě původně navrženého zařízení. Změna se týkala tlakového vodního akumulátoru a vzduchového akumulátoru. Na rozdíl od studie byly instalovány větší tlakové nádrže o objemu jedné nádoby  $4,5 \text{ m}^3$ , užitečný objem vody se tak zvýšil z původní hodnoty  $0,3 \text{ m}^3$  na  $0,389 \text{ m}^3$ . Rovněž byla použita potrubí s jinými průměry, než stanovila studie. Z tohoto důvodu byl v rámci této bakalářské práce vypracován nový odběrový diagram vody a upřesněn chod akustanice. Rovněž bylo provedeno posouzení tlakových poměrů a rozložení průtoků v modifikované potrubní síti.

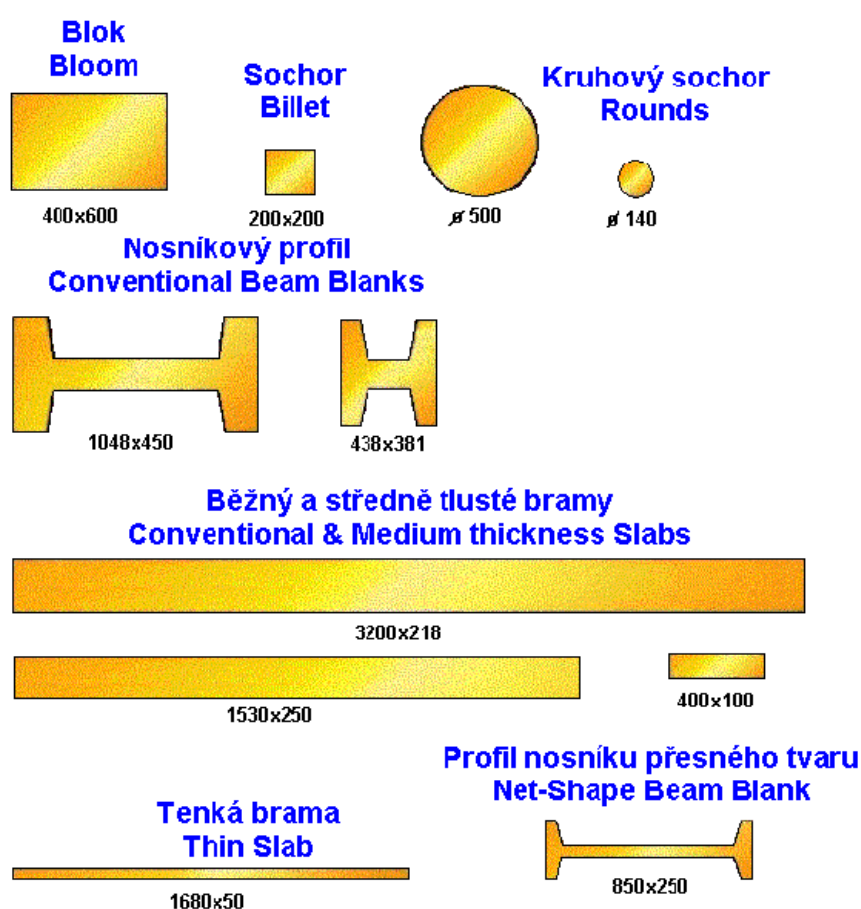
Významným dodavatelem technologií odstraňování okují vysokotlakým vodním ostříkem je firma **HYDROSYSTEM group**, a.s. Olomouc. Na území ČR realizovala od roku 1991 drtivou většinu těchto zařízení ve všech společnostech s hutní výrobou:

- Vítkovice, a.s. Ostrava
- Nová Huť, a.s. Ostrava
- Třinecké železářny, a.s. Třinec
- Válcovny plechu, a.s. Frýdek Místek[1]

## 2. Vysvětlení základních pojmů.

### 2.1 Brama

Slouží nejčastěji jako polotovar pro výrobu dalších produktů např. válcování tzv. tlustých plechů na výrobu lodí. Vyrábí se z odlitých ingotů pomocí válcování ve válcovnách bram. Ovšem v současnosti se stále častěji používá modernější způsob výroby plynulým odléváním. Bramy se dále zpracovávají v jiných válcovnách na tlusté plechy nebo pásy. Ukázka profilů bram a jiných polotovarů viz Obr. 1. [2]



Obr. 1. Ukázka polotovarů

### 2.2 Okuje

Jsou malé části korodovaného materiálu a nečistot přilepené na povrchu válcovaného plechu. Pokud nejsou tyto částičky vhodným způsobem z povrchu odstraněny, dochází k velkému poklesu kvality plechu. [3]

## **2.3 Odstranění okují**

### **Moření**

Okuje se odstraňují mořením v kyselinách. Moření v  $H_2SO_4$  zředěné vodou v poměru 1:3 až 1:10, přičemž lepší mořící účinek je při větším zředění.

Moření v  $HCl$  zředěné vodou 2 : 1 až 1 : 2 je účinnější než v  $H_2SO_4$ , lázeň se nemusí ohřívat, ale z hygienického hlediska je to méně příznivé, protože vznikají škodlivé výpary. Doba moření v obou kyselinách je závislá na složení oceli, na stupni a charakteru zokujení a je mezi 20 až 40 minutami.

Moření v  $H_3PO_4$  má tu výhodu, že povrch je po moření pokryt fosfátovým povlakem. Po skončení moření je nutno pásy opláchnout od zbytku kyselin a neutralizovat roztokem vápenného mléka nebo uhličitanu sodného.

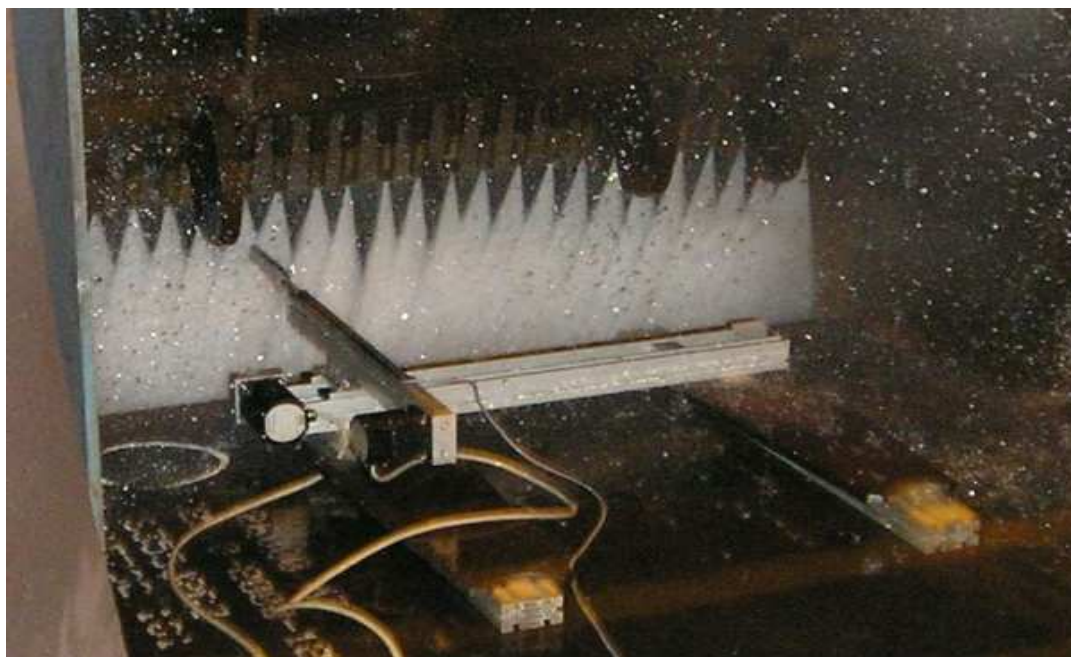
### **Tryskání**

Je to mechanický způsob odstranění okují. Na povrch pohybujícího se pásu se vrhá ocelová krupice pomocí lopatkových kol. Drsnost otryskaného povrchu se řídí volbou tryskacího prostředku a rychlostí dopadu na pás. Používá se sekaný drát z uhlíkové nebo jemné krupice z manganové oceli.[4]

### **Vysokotlaký ostřík vodním paprskem**

Je nejrozšířenější metodou odstraňování okují v průběhu výrobního procesu hutnického polotovaru. K odstraňování okují z povrchu plechu se obvykle používá ostřík vysokotlakými vodními tryskami viz Obr.2 - velký tlak vody zaručuje účinné odstranění okují z povrchu plechu a současně zchlazení povrchu na požadovanou výstupní teplotu. Vysokotlaký vodní ostřík okují obvykle probíhá při tlakové úrovni 15 až 25 MPa.





Obr. 2. Ostřiková sekce s měřícím zařízením

Protože šířka paprsku vysokotlaké trysky je velmi malá (asi 50-120 mm ve vzdálenosti 100 mm od trysky) vzhledem k šířce válcovaného plechu (1500 i více mm), je nutné použít větší množství chladících trysek ve vhodné konfiguraci viz Obr. 3. Při návrhu a tvorbě takové konfigurace je nutné zajistit splnění několika požadavků:

- kombinace tlaku vody v trysce a vzdálenosti plechu od trysky musí být taková, aby byl zaručen dostatečný tlak v místě ostříku
- rychlost pohybu plechu ostřikovou částí musí být přizpůsobena teplotě plechu a chladícím schopnostem trysek
- vhodnou konfigurací trysek musí být zaručeno co možná nejvíce rovnoměrné rozložení tlaku v ploše ostříku - při nesplnění tohoto požadavku je plech nerovnoměrně chlazený a dochází ke vzniku více a méně ochlazených pruhů na jeho povrchu - takzvaná "zebra" [3]



Obr. 3. Konfigurace trysek

#### 2.4 Příklad modernizace válcovací tratě plechů v a.s. Vítkovice Steel

Z hlediska zvýšení povrchové kvality válcovaných plechů bylo nutno zmodernizovat odstraňování okují během válcování.

Dodávka zařízení pro odstraňování okují vysokotlakým vodním ostřikem ve válcovně tlustých plechů 3,5 m kvarto byla dokončena na konci roku 2000.

Systém vysokotlakého ostříku umožňuje odstraňovat **primární okuje** z bram v šířce až 1700 mm z horního i spodního povrchu v odkujovači s hydraulicky stavitelnými tryskami horního ostříku. Odstraňování okují zde probíhá automaticky při provozním tlaku vody až 23 MPa (podle jakosti materiálu) a průtoku vody 54 l/s.

**Sekundární okuje** z rozvalků v šířce až 3400 mm jsou taktéž odstraňovány z horního a spodního povrchu, a to na obou stranách válcovací reverzní stolice 3,5m kvarto. Poloha horních ostříkových trysek stolice je automaticky stavitelná s horním pracovním a opěrným válcem. Sekundární okuje z rozvalků jsou odstraňovány ve stolici během válcování při provozním tlaku vody až 16,5 MPa při průtoku 90 l/s.

Instalovaný příkon technologie je ve válcovně tlustých plechů 3,5 kvarto pro primární a sekundární ostřík 3200 kW.

Ve válcovně tlustých plechů jsou vývalky válcovány na reverzační válcovací stolici 3,5 kvarto, u které v souvislosti s ostřikem sekundárních okují vysokotlakou vodou vzniká potřeba rychlého přesměrování ostřiků z jedné strany válcovací stolice na druhou, a to v krátké době reverzace. Z pohledu životnosti rychločinných armatur, kterými jsou nastavovány průtočné cesty k jednotlivým ostřikovým místům, je nejvýhodnější jejich přestavování při nulovém přetlaku v potrubním řádu. To ovšem klade extrémní nároky na rychlost regulace průtoku zdroje tlakové vody.

S ohledem na výše uvedené parametry ostřiků a s ohledem na zadané průchodové plány válcování na stolici jsou **jako zdroj vysokotlaké vody použita plunžrová čerpadla WOMA Duisburg**. Tato plunžrová čerpadla (10 čerpadel pracovních a 2 záložní) jsou vybavena inovovanými hydraulickými díly s elektromagnetickým ovládáním sacích ventilů (patent Hydrosystem), které umožňují skokově regulovat průtok, tj. umožňují v krátkém čase zahájit nebo ukončit čerpání.

Systém ostřiku okují je kompletně řízen programovatelným automatem, do kterého jsou přivedeny informace o okamžitém stavu klíčových míst technologie.

Automat pak na základě analýzy těchto signálů zajišťuje vykonání potřebných úkonů, jako je například otvírání a zavírání armatur, zapínání a vypínání agregátů, informování obsluhy a především na základě požadavku z nadřazeného řídicího systému začátek a konec odokujení. Komfortnost obsluhy zařízení ostřiku okují je zvýšena vizualizací celého procesu na počítači. Obsluha tak může na monitoru sledovat provozní stavy a trendy technologie a může podle potřeby ovládat jednotlivé prvky technologického zařízení ostřiku okují ze svého centrálního operátorského pracoviště.

V průběhu garančních zkoušek bylo ověřeno 6 jakostních skupin oceli. Kvalita povrchu plechů vyhovovala všem požadavkům normy ČSN EN 10163.[1]

### 3. Řešení čerpacího systému.

#### 3.1 Řešení potrubních sítí.

V praxi se používá velmi často potrubní složení- tzv. potrubní síť. Složení potrubí mohou být větvená nebo okružní. Okružní potrubí vznikne tak, že ve větvené síti se dva uzly spojí tzv. diagonálou.

Je – li v síti uzavřená smyčka, provádí se výpočet metodou, která je aplikací Kirchhoffových zákonů na danou síť, ale na rozdíl od elektrické sítě je nutno v potrubních sítích pro vodu uvažovat nelineární závislost mezi tlakovou ztrátou  $\Delta p$  a průtokem  $Q_v$ .

Kirchhoffovy zákony:

1. Pro každý uzel sítě musí platit rovnice kontinuity
2. Součet tlakových diferencí v jednotlivých v jednotlivých větvích postupně sčítaných v jednom smyslu je roven nule
3. Závislost udávající vztah mezi ztrátovou výškou  $h_i$  nebo tlakovou ztrátou  $\Delta p_i$  a průtokem  $Q_i$  v úseku.

Z toho plyne, že pro určení tlaků  $p_i$  a průtoků  $Q_v$  je třeba sestavit soustavu nelineárních algebraických rovnic. Jejich řešení je nutné provést numericky s využitím počítače. Při větším počtu rovnic používáme nejčastěji iterační metody.

### **Výpočet potrubních sítí:**

Výchozí podklady pro výpočet sítě jsou:

- Schéma sítě s udáním délek a výškových rozdílů, případně průměrů potrubí
- Spotřeba v místě odběru
- Požadované přetlaky v místě odběru
- Údaje o zdrojích (výkonnost, přetlak apod.)
- Údaje o časovém vymezení provozu jednotlivých částí sítě
- Ekonomické údaje (ceny potrubí, el. Energie apod.)

Potrubní systém můžeme navrhnout jak:

- Jednoduchý, tvořený jedním potrubím
- Složený, sestávající se z většího počtu potrubí, tvořící síť obsahující uzly a větve, případně okruhy

### **Pro příklad zde uvádím výpočet potrubního systému se dvěma okruhy:**

Vypočtete korekční průtoky pro dvoukruhovou síť. Na obrázku jsou vyznačeny vtoky a odběry ze sítě, délky úseků, potrubí a odhad průtoků. Absolutní drsnost potrubí je  $k$ .

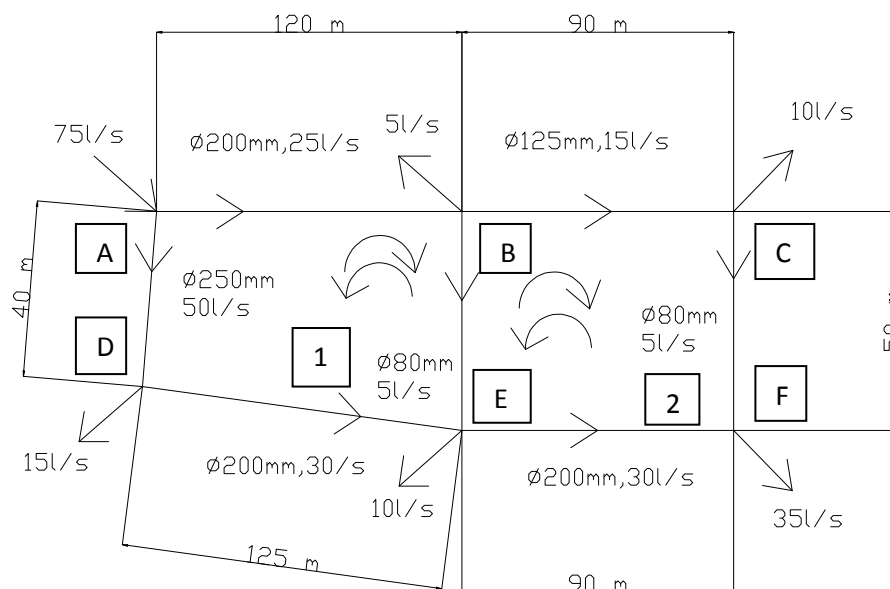
**Zadáno:**  $k = 0,001 \text{ m}$

$$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

**Vypočtete:**  $\Delta Q_1 = \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$$\Delta Q_2 = \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

**Schéma :**



**Řešení:**

Kontrola, zda pro každý uzel platí rovnice kontinuity:

	úsek n	průměr potrubí $\phi[\text{m}]$	délka potrubí $l[\text{m}]$	průtok $Q_v[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
Okruh 1	AB-1	0,2	120	0,025
	BE-2	0,08	50	0,005
	ED-3	0,2	125	0,035
	DA-4	0,25	40	0,05
Okruh 2	BC-5	0,125	90	0,015
	CF-6	0,08	50	0,005
	FE-7	0,2	90	0,03
	EB-2	0,08	50	0,005

$$\sum Q_{v1} = 0$$

Výpočet rychlostí v jednotlivých úsecích:

$$Q_v = S v = \frac{\pi d^2}{4} v \Rightarrow v = \frac{4 Q_v}{\pi d^2} \quad (1)$$

Určení Reynoldsova čísla:

$$Re = \frac{v d}{\nu} \quad (2)$$

Určení součinitele tření:

$$\lambda = 0,1 \left( \frac{100}{Re} + \frac{k}{d} \right)^{0.25} \quad (3)$$

Tlakové ztráty pro obě smyčky jsou dány:

	úsek n	průtok $Q_v [m^3 \cdot s^{-1}]$	v $[m \cdot s^{-1}]$	Re [1]	$\lambda$ [1]	$k_Q$ $[s^2 \cdot m^{-5}]$	$k_Q \cdot Q_v$ $[s \cdot m^{-2}]$	$k_Q \cdot Q_v^2$ [m]
Okruh 1	AB-1	0,025	0,7958	159154,94	0,0273902	848,68626	21,217156	0,5304289
	BE-2	0,005	0,9947	79577,47	0,0342474	43178,681	215,89341	1,079467
	ED-3	0,035	1,1141	222816,92	0,0271691	876,91291	30,691952	1,0742183
	DA-4	0,05	1,0186	254647,91	0,0257444	87,129264	4,3564632	0,2178232
Okruh 2	BC-5	0,015	1,2223	152788,75	0,0305007	7432,3158	111,48474	1,6722711
	CF-6	0,005	0,9947	79577,47	0,0342474	43178,681	215,89341	1,079467
	FE-7	0,03	0,9549	190985,93	0,0272619	633,53308	19,005992	0,5701798
	EB-2	0,005	0,9947	79577,47	0,0342474	43178,681	215,89341	1,079467

$$\Delta H_1 = k_{Q1} Q_{v1}^2 + k_{Q2} Q_{v2}^2 - k_{Q3} Q_{v3}^2 - k_{Q4} Q_{v4}^2 \quad (4)$$

$$\Delta H_1 = 0,3179 \text{ m}$$

$$\Delta H_2 = k_{Q5} Q_{v5}^2 + k_{Q6} Q_{v6}^2 - k_{Q7} Q_{v7}^2 - k_{Q2} Q_{v2}^2 \quad (5)$$

$$\Delta H_2 = 1,1021 \text{ m}$$

Předpokládá se, že při počáteční aproximaci hodnot a směrů průtoků mají rezidua ve všech smyčkách kladná znaménka. Po zavedení korekčních průtoků pro celé smyčky  $\Delta Q_I, \Delta Q_{II}$  je možno zapsat následující rovnice:

$$k_{Q1} (Q_{v1} - \Delta Q_I)^2 + k_{Q2} (Q_{v2} - \Delta Q_I + \Delta Q_{II})^2 - k_{Q3} (Q_{v3} + \Delta Q_I)^2 - k_{Q4} (Q_{v4} + \Delta Q_I)^2 = 0 \quad (6)$$

$$k_{Q5} (Q_{v5} - \Delta Q_{II})^2 + k_{Q6} (Q_{v6} - \Delta Q_{II})^2 - k_{Q7} (Q_{v7} + \Delta Q_{II})^2 - k_{Q2} (Q_{v2} + \Delta Q_{II} - \Delta Q_I)^2 = 0 \quad (7)$$

Pomocí úprav těchto rovnic získáme soustavu lineárních rovnic pro neznámé  $\Delta Q_I, \Delta Q_{II}$ .

$$\Delta H_I - 2 \Delta Q_I \sum (k_Q Q_v)_I + 2 k_{Q2} Q_{v2} \Delta Q_{II} = 0 \quad (8)$$

$$\Delta H_{II} - 2\Delta Q_{II} \sum (k_Q Q_v)_{II} + 2k_{Q2} Q_{v2} \Delta Q_I = 0 \quad (9)$$

Z těchto rovnic vyjádříme korekční průtoky  $\Delta Q_I, \Delta Q_{II}$  :

$$\Delta Q_{II} = \frac{2\Delta Q_I \sum (k_Q Q_v)_I - \Delta H_I}{2k_{Q2} Q_{v2}} \quad (10)$$

$$\Delta Q_I = \frac{\Delta H_{II} + \sum (k_Q Q_v)_{II} \frac{\Delta H_I}{k_{Q2} Q_{v2}}}{\frac{2\sum (k_Q Q_v)_I \sum (k_Q Q_v)_{II}}{k_{Q2} Q_{v2}} - 2k_{Q2} Q_{v2}} \quad (11)$$

Výsledky:

$$Q_1 = 0,00196 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_2 = 0,00173 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Kontrola dosazením do rovnic:

$$k_{Q1} (Q_{v1} - \Delta Q_I)^2 + k_{Q2} (Q_{v2} - \Delta Q_I + \Delta Q_{II})^2 - k_{Q3} (Q_{v3} + \Delta Q_I)^2 - k_{Q4} (Q_{v4} + \Delta Q_I)^2 = 0 \quad (12)$$

$$k_{Q5} (Q_{v5} - \Delta Q_{II})^2 + k_{Q6} (Q_{v6} - \Delta Q_{II})^2 - k_{Q7} (Q_{v7} + \Delta Q_{II})^2 - k_{Q2} (Q_{v2} + \Delta Q_{II} - \Delta Q_I)^2 = 0 \quad (13)$$

Výsledky kontroly:

$$0,0018\text{m}$$

$$0,1477\text{m}$$

Výsledky kontroly by se měly blížit nulové hodnotě (teoreticky by měly být nulové), což v tomto případě splňujeme. V případě, že by byly větší, opakujeme postup výpočtu s upravenými průtoky dle výsledných korekčních průtoků dokud nebude splněna tato podmínka.[5]

### 3.2 Rozdělení čerpadel

Čerpadla jsou stroje pro dopravu, zvedání a zvyšování tlakové energie kapaliny. Podle způsobu přeměny energie je možno čerpadla rozdělit na :

**Hydrostatická** - mechanická energie je přímo přeměňována na tlakovou energii kapaliny. Jsou také označována jako čerpadla objemová.

Dělí se dále na :

#### a) čerpadla s kmitavým pohybem funkční části

- pístová
- plunžrová

- membránová
- vlnovcová
- křídlová
- radiální
- axiální

**b) čerpadla s otáčivým pohybem funkční části**

- zubová
- vřetenová
- lamelová
- hadicová

**Hydrodynamická** - mechanická energie je přeměňována nejdříve na energii kinetickou, která se následně mění na energii tlakovou.

Dělí se dále na :

**a) lopatková**, která mohou být podle směru proudění kapaliny :

- **radiální neboli odstředivá**, ve kterých je kapalina dopravována působením odstředivé síly; vstup kapaliny do čerpadla je axiální, výstup je radiální
- **axiální neboli vrtulová**, kterými kapalina prochází ve směru osy rotoru
- **diagonální**, do kterých kapalina vstupuje axiálně a ze kterých vystupuje diagonálně

**b) proudová neboli injektory**, ve kterých je dopravovaná kapalina strhávána proudem vody, plynu nebo páry, vytékající vysokou rychlostí z trysky.

**Čerpadla pracující na jiném principu přeměny energie:**

**Trkače**, pracující s přerušovaným proudem kapaliny a využívající energetického rázu při přerušení proudu.

**Mamutová**, ve kterých je kapalina vynášena přiváděným vzduchem.

**Elektromagnetická**, ve kterých se dopravují elektricky vodivé kapaliny působením elektromagnetického pole.

**Zdvížná**, založená na mechanickém zdvihání kapaliny v dopravních prostorech. Podle funkčního prvku zdvihacího ústrojí mohou být korečková nebo šneková.[6]



### 3.2.1 Hydrostatická čerpadla s kmitavým pohybem funkční části

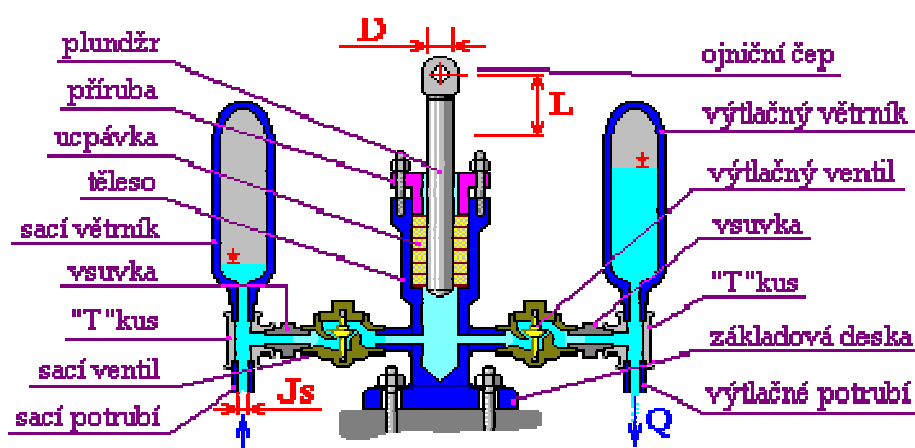
U hydrostatických čerpadel je tlak vyvozován přímým silovým působením funkční části čerpadla (pístu, plunžru, membrány atd.)

Plunžrová a pístová čerpadla jsou používána zejména v oblasti metalurgie pro pohony lisů a ostřík okují, těžby ropy, chemického průmyslu a hlubinných dolů. Čerpaným médiem je zejména vodní emulze s olejem, voda, hydraulický olej, nafta, amoniak, karbonát a další kapaliny, jejichž specifikaci je nutno projednat s výrobcem. Čerpadla jsou dodávána v sólo provedení nebo s kompletním pohonem. Čerpadla a čerpací soustrojí jsou běžně dodávána i do prostředí s nebezpečím výbuchu.

#### Popis plunžrového čerpadla:

Toto čerpadlo je vlastně čerpadlem pístovým s tím rozdílem, že pístní tyč a píst splývá v jednu součást o stejném průměru – **plunžr** viz Obr. 4. Stroj může být konstruovaný jako **jednočinný** nebo v ojedinělých případech i jako **dvojčinný**. V minulosti bylo toto čerpadlo využíváno především jako napáječka parních kotlů.

Níže popisovaný typ čerpadla dokáže i při malých otáčkách čerpat vodu o stálém a velmi vysokém tlaku.



Obr. 4. Princip plunžrového čerpadla

#### Funkce:

Čerpadlo je od např. elektromotoru poháněno prostřednictvím klikového hřídele (nebo excentru). Vlastním plunžrem pohybuje ojnice. Ačkoliv se plunžr nedotýká stěn, při jeho pohybu ven z tělesa, vzniká v tomto prostoru podtlak, který přes sací ventil nasává do tělesa

vodu. Protože k tomu dochází náhle, je nasávána nejprve zásoba vody v sacím větrníku. Teprve až se uvede do pohybu sloupec kapaliny v přívodním potrubí, je sací potřeba uhrazována z něj. Jakmile dojde plunžr do horní úvratě, sání končí a sací ventil se vlastní vahou uzavírá. Přívodním potrubím voda však stále ještě přitéká a než se zcela zastaví, částečně vyplní prostor v sacím větrníku. Při pohybu plunžru směrem do tělesa, kdy se plunžr zanořuje do kapaliny, musí voda těleso opustit. Svým tlakem překoná dopravní tlak ve výtláčném potrubí a zdvihne výtláčný ventil. Protože se výtlak koná v poměrně krátkém čase a voda ve výtláčném potrubí ještě není dostatečně rozprouděná, plní se výtláčný větrník a teprve později odtéká kapalina výtláčným potrubím. Když dojde plunžr do nejnižší polohy, výtlak končí a zpětný tlak uzavře výtláčný ventil. Výtláčným potrubím však stále ještě nějaký čas proudí voda z výtláčného větrníku (hnána bublinou stlačeného vzduchu nad hladinou). Mezitím již dochází k dalšímu sacímu cyklu a situace se periodicky opakuje. Rychlost čerpadla je omezená uzavírací rychlostí ventilů.[6]

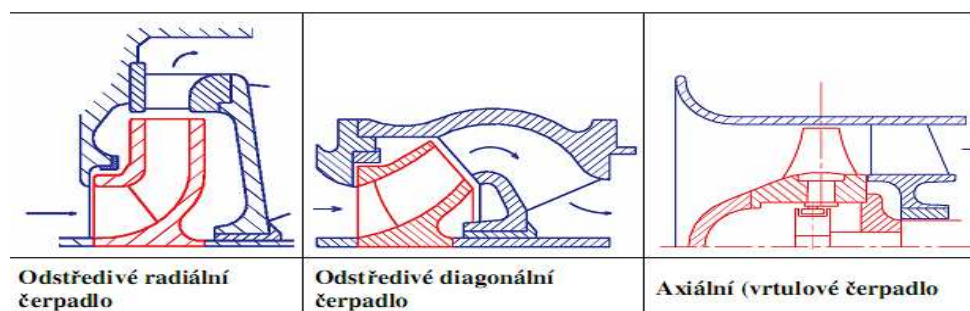
### 3.2.2 Hydrodynamická čerpadla lopatková

Lopatková čerpadla jsou rotační lopátkové pracovní stroje, sloužící k dopravě kapalin. Lopátkovému čerpadlu se z vnějšku dodává mechanická energie. Tato mechanická energie přiváděná na hřídel, se mění v oběžném kole na energii kinetickou, a poté na energii tlakovou ještě v oběžném kole. Další část se mění v rozváděcím ústrojí neboli v rozvaděči a spirále.

$$W_{mech} \rightarrow \Delta W_{kin} \rightarrow \Delta W_{tl}$$

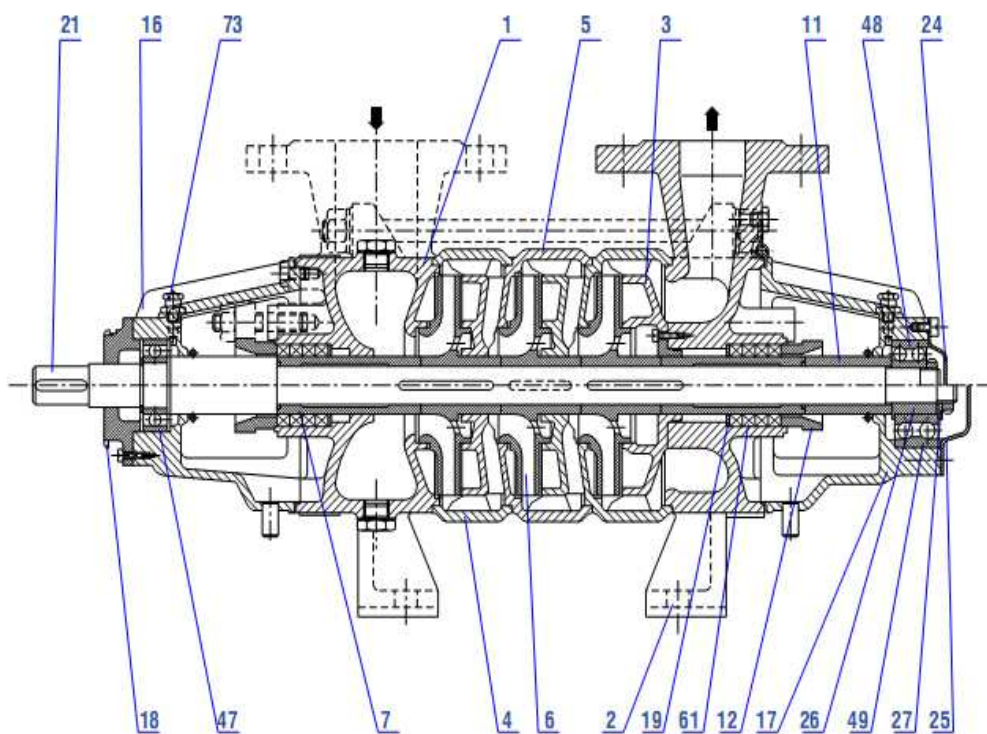
Vstup kapaliny do běžného kola čerpadla je vždy axiální. Podle směru výstupu kapaliny je možno čerpadla rozdělit na: viz Obr. 5

- radiální, která pracují jako odstředivá
- axiální, která pracují jako vrtulová
- diagonální, jejichž funkce spojuje oba principy



Obr. 5. Popis odstředivého (radiálního) čerpadla

Odstředivá čerpadla se pro malé výstupní tlaky konstruují jako jednostupňová, pro větší výstupní tlaky jako více stupňová viz Obr 6. Na nejmenším funkčním průměru oběžného kola je nasávána, na největším průměru vytlačována.[6]



**Obr. 6. Řez vícestupňovým odstředivým čerpadlem**

## 4.1 Úvod:

Pro odstranění primárních okují z bramek ohřátých na válcovací teplotu ve dvouřadě krokové peci před jejich válcováním na triostolici má sloužit vysokotlaký ostřík okují. Dle požadavku provozovatele byla zpracována studie vysokotlakého ostříku. Tato studie řeší ostřík bramek na spojovacím dopravníku v místě původně uvažovaného kartáčového stroje. Při realizaci došlo k některým změnám oproti předložené studii, které nebyly dále zapracovány do projektu a ověřeny. Tyto změny promítnou do odběrového diagramu.

#### 4.2 Zadané údaje:

Parametry bramek:

- tloušťka: 100-120 mm
- šířka: 270-500 mm
- délka: 840-1300 mm
- křivost: 20 mm/m
- materiál: - oceli třídy 10-17, 19
- teplota: 1150 °C

Výkonové parametry:

- interval vyvážení bramek z pece: min. 82 s
- rychlost válečkového dopravníku: 0,33 m.s<sup>-1</sup>
- ostřík u triostolice provádět v 5 stezích po dobu 6 s při šířce plechu 1500 mm jen po jedné ploše

#### 4.3 Popis zařízení:

Zařízení se sestává z vlastní akustanice, sloužící jako zdroj pro výrobu vysokotlaké vody, ventilové stanice mající za úkol provádět řízení ostříku materiálu, kabiny ostříku (odokujovače)

**Akustanice se sestává:**

- tlakový vzduchovodní akumulátor N1
- vysokotlaká čerpadla Č1, Č2
- vzduchový akumulátor N2
- kompresor K
- beztlaková vodní nádrž VN
- minimální ventil MV
- vypínací ventily VV
- rozváděč R
- navěšené elektrozařízení
- regulace a měření

- potrubní rozvody vč. kotevního a spojovacího material
- ocelové konstrukce, příp. plošiny

Akustanice má být umístěna na hutní úrovni  $\pm 0,0$  v prostoru mezi sl. C4, B4, krokovou pecí, kalícím strojem a skladem bram.

#### **Ventilová stanice sestává:**

- rychlouzavírací armatura
- ruční uzavírací armatura
- zařízení pro zahlcování trysek nízkotlakou vodou

Ventilová stanice je umístěna v bezprostřední blízkosti kabiny ostříku u válečkového dopravníku. Ovládání ventilové stanice se provádí automaticky dle čidel umístěných na trait, nebo ručně z kabiny.

#### **Kabina ostříku sestává:**

- kryt kabiny-svař. ocelová konstrukce
- kolektor osazen vysokotlakými tryskami
- zařízení pro zabránění úniku vysokotlaké vody a okují z kabiny

Kabina ostříku se usadí na rámu valníku, příp. na samostatném kotevním rámu. Konstrukce musí být řešena tak, aby bylo možné provést výměnu trysek v kolektoru. Současně musí být zabezpečen odvod vody a okují okujovým kanálem z prostoru pod kabinou ostříku.

### **4.4 Stanovení parametrů trysek, nádrží, čerpadel**

Ostřík bramek bude prováděn v kabině ostříku a to shora ve dvou řadách sespod v jedné řadě po max. šířce bramky.

požadovaný tlak na tryskách: cca 16 MPa

#### **Trysky**

typ: FUH 4 666.847 (úhel rozstříku  $30^\circ$ )

počet trysek: 15 (10 v horních řadách, 5 ve spodní řadě)

spotřeba 1 trysky:  $2,22 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

spotřeba 15 trysek:  $33,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

doba ostříku: 6 s

dobu mezi ostřiky 76 s

množství tl. vody 199,8 dm<sup>3</sup>

Z původního odběrového diagramu vyplýval požadavek na dodávané množství vody čerpadlem v hodnotě 2,85 dm<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> při tlaku 14,02 MPa až 15,7 MPa.

Tomu odpovídal výběr čerpadla typu- SIGMA 40-PAR-5-60-45-250-0C-01. Čerpadlo je chráněno proti nedovolenému stoupnutí tlaku pojistným ventilem, nastaveným na max. dovolený provozní tlak + cca 15% a zaplombován. Tento ventil je umístěn na víku ventilů a je součástí čerpadla.

Oproti původní studii byl užitečný vodní objem akumulátoru N1 změněn z 300 dm<sup>3</sup> na 389 dm<sup>3</sup>. Tlak v akumulátoru má klesat z 15,7 MPa na 14,02 MPa při minimální hladině.

#### 4.5 Odběrový diagram vody

Množství vody potřebné na ostřik je zajištěno dodávkou z vodního akumulátoru současně s čerpadlem, které pracuje systémem tlak-odpad. Čerpadlo před počátkem dalšího ostřiku doplní nádrž a pracuje do odpadu. Protože došlo ke změně užitečného objemu vodního akumulátoru a k výběru jiného čerpadla, byl zpracován odběrový diagram v několika variantách (viz. kapitola 5).

#### 4.6 Popis funkce akustanice

Čerpadlo Č1 se spouští a zastavuje z rozvaděče R. Čerpadlo Č2 slouží jako rezerva. Za provozu je čerpadlo Č1 neustále v chodu, pracuje buď do tlaku nebo do odpadu.

##### Chod akustanice:

Akumulátor N1 je naplněn na max. hladinu, ostřik se neprovádí. Čerpadlo Č1 pracuje do odpadu. Při odběru hladina vody v N1 klesá. Při rozpojení článku ve stavoznaku ST se přestaví vypínací ventil VV a tím čerpadlo naskočí do tlaku. Po odběru doplní čerpadlo N1 na max. hladinu [7].

## 5. Návrh čerpadla

### 5.1 Porovnání čerpadel a odběrových diagramů :

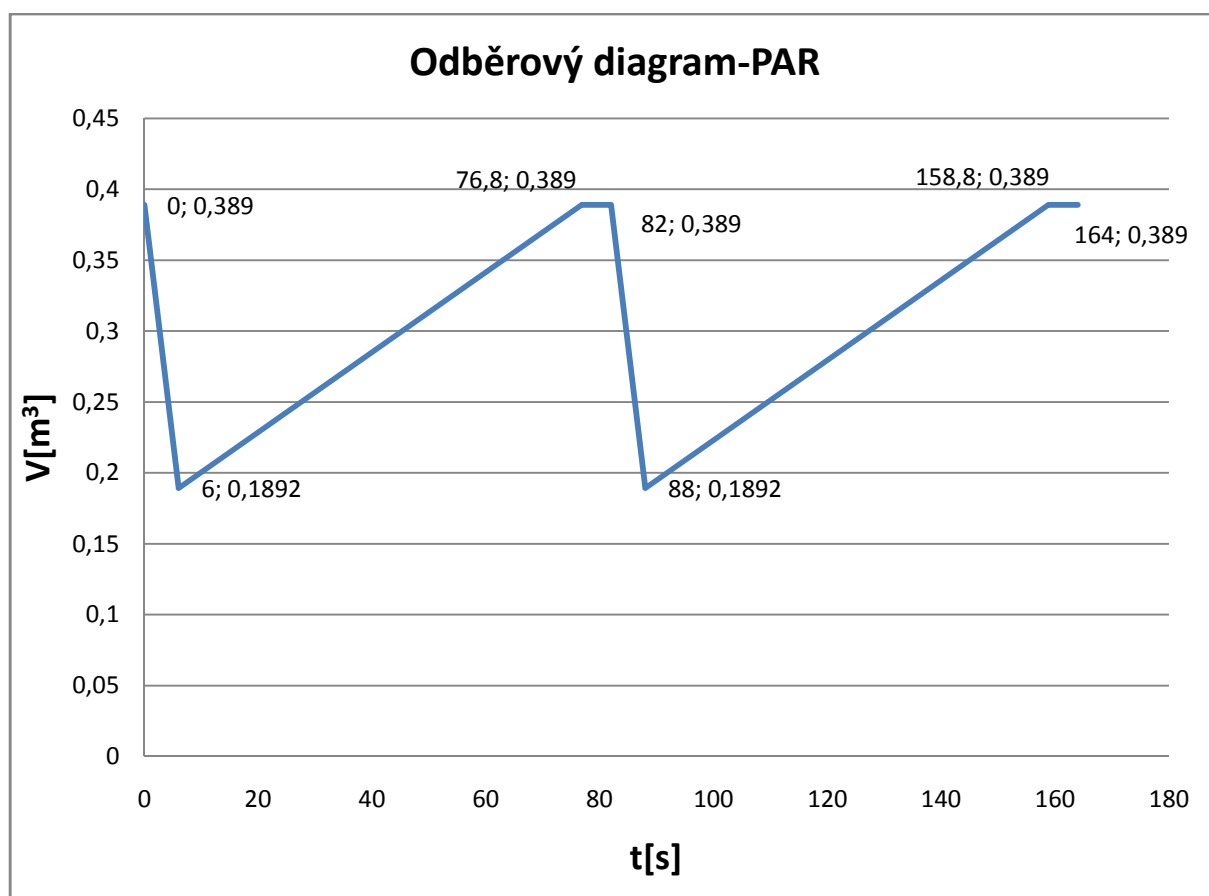
Uvádím zde původní čerpadlo typu PAR a mnou vybrané čerpadlo typu PAH, které splňuje požadavek na menší spotřebu energie. Obě čerpadla jsou hydrostatická plunžrová. Jelikož se čerpadlo typu PAR, které bylo v projektu uvedeno, již nevyrábí, zvolil jsem nejbližší podobné svým označením. Pro zajímavost zde uvádím také hydrodynamická čerpadla. Zatím co hydrostatická čerpadla mají tvrdou charakteristiku a jsou pro menší průtoky a vyšší tlaky, tak hydrodynamická čerpadla mají měkkou charakteristiku a jsou pro vyšší průtoky a menší tlaky. Pro náš účel jsou výhodnější čerpadla hydrostatická z důvodu kolísání tlaku. U HD čerpadel bychom museli zajistit regulaci průtoky. Zástupce hydrodynamických čerpadel je typ H-VA-2a-HD-10 a typ CVX, které nejlépe odpovídaly zadaným požadavkům.

Pro čerpadlo PAR je zpracována alternativa odběrového diagramu, kdy voda na ostřík je odebírána pouze z akumulátoru a čerpadlo se zapne do tlaku po ukončení ostříku a doplní nádrž před začátkem následujícího ostříku.

a	čerpadlo pracuje do odpadu
b	ostřík z nádrže i s čerpadla
c	čerpadlo doplňuje pouze nádrž

## čerpadlo PAR- spouští se do tlaku po 1. Ostřiku

	čas	objem	práce čerpadla		
	[s]	[m <sup>3</sup> ]	a	b	c
0	0	0,389			
1	6	0,1892			
2	76,8	0,389			
3	82	0,389			
4	88	0,1892			
5	158,8	0,389			
6	164	0,389			





$$p_{\max} = 25 \text{ MPa}$$

$$Q = 3 \text{ l/s} = 0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P = 75 \text{ kW}$$

čerpadlo pracuje do tlaku	70,8 s
čerpadlo pracuje do odpadu	11,2 s
doplnění nádrže	70,8 s
rezerva v nádrži	189 l

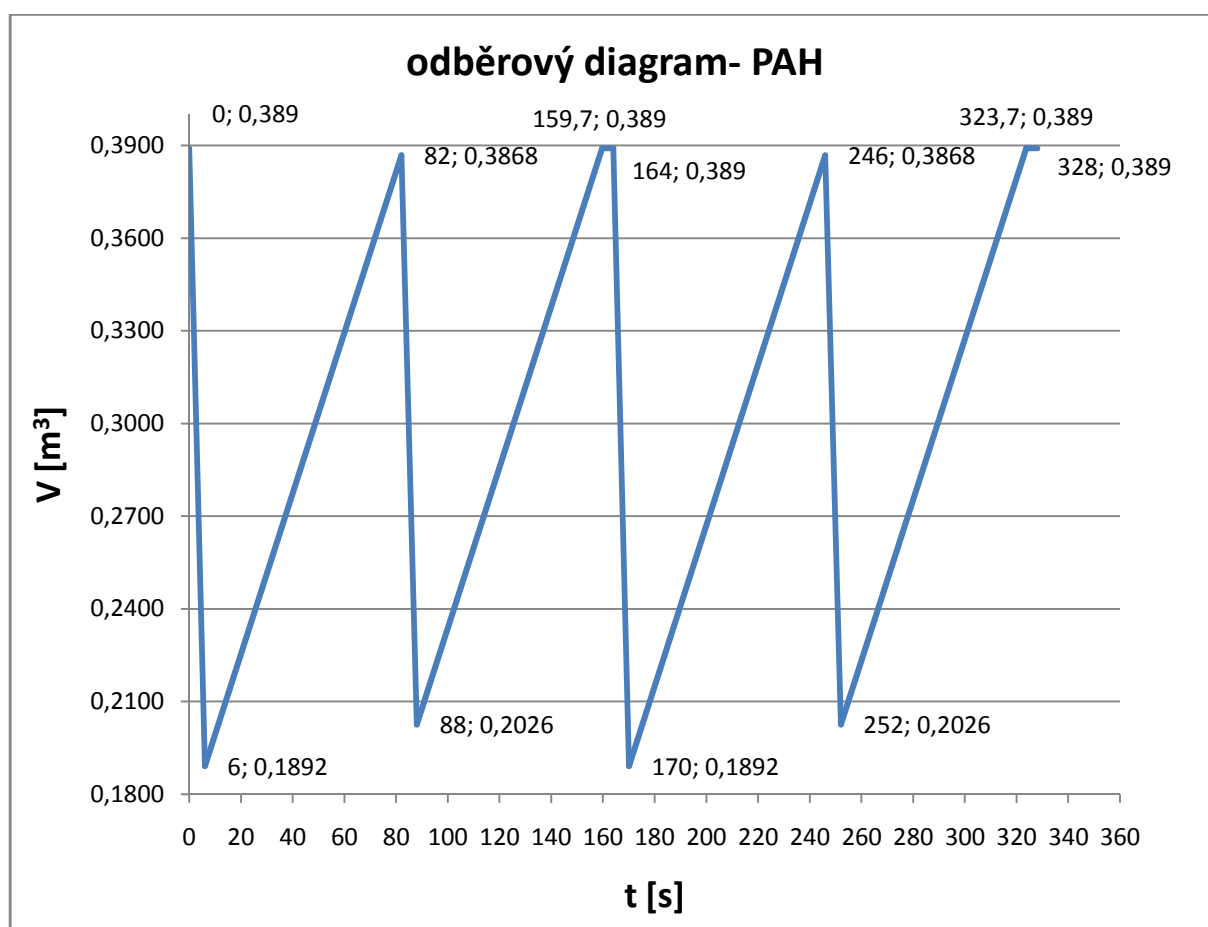
### **Vyhodnocení :**

V tomto případě je voda na ostřík odebírána pouze z tlakové nádrže, čerpadlo pracuje buď do odpadu nebo na doplnění nádrže. Nádrž je doplněna před zahájením dalšího ostříku.

Jelikož došlo ve studii k výše uvedeným změnám, cílem bylo tyto změny využít např. tím, že bude zvoleno čerpadlo s menším průtokem, tím pádem i menším příkonem, aby došlo k úsporám energie. Čerpadlo PAR je tedy zbytečně energeticky náročné. Katalog viz. příloha.

## čerpadlo PAH- čerpadlo začíná pracovat do tlaku po 1. ostříku

		čas		objem		práce čerpadla	
	[s]	[m³]	a	b	c		
0	0	0,389					
1	6	0,1892					
2	82	0,3868					
3	88	0,2026					
4	159,7	0,389					
5	164	0,389					
6	170	0,1892					
7	246	0,3868					
3	252	0,2026					
9	323,7	0,389					
10	328	0,389					



čerpadlo pracuje do tlaku	153,7 s
čerpadlo pracuje do odpadu	10,3 s
doplnění nádrže	153,7 s
rezerva v nádrži	189 l

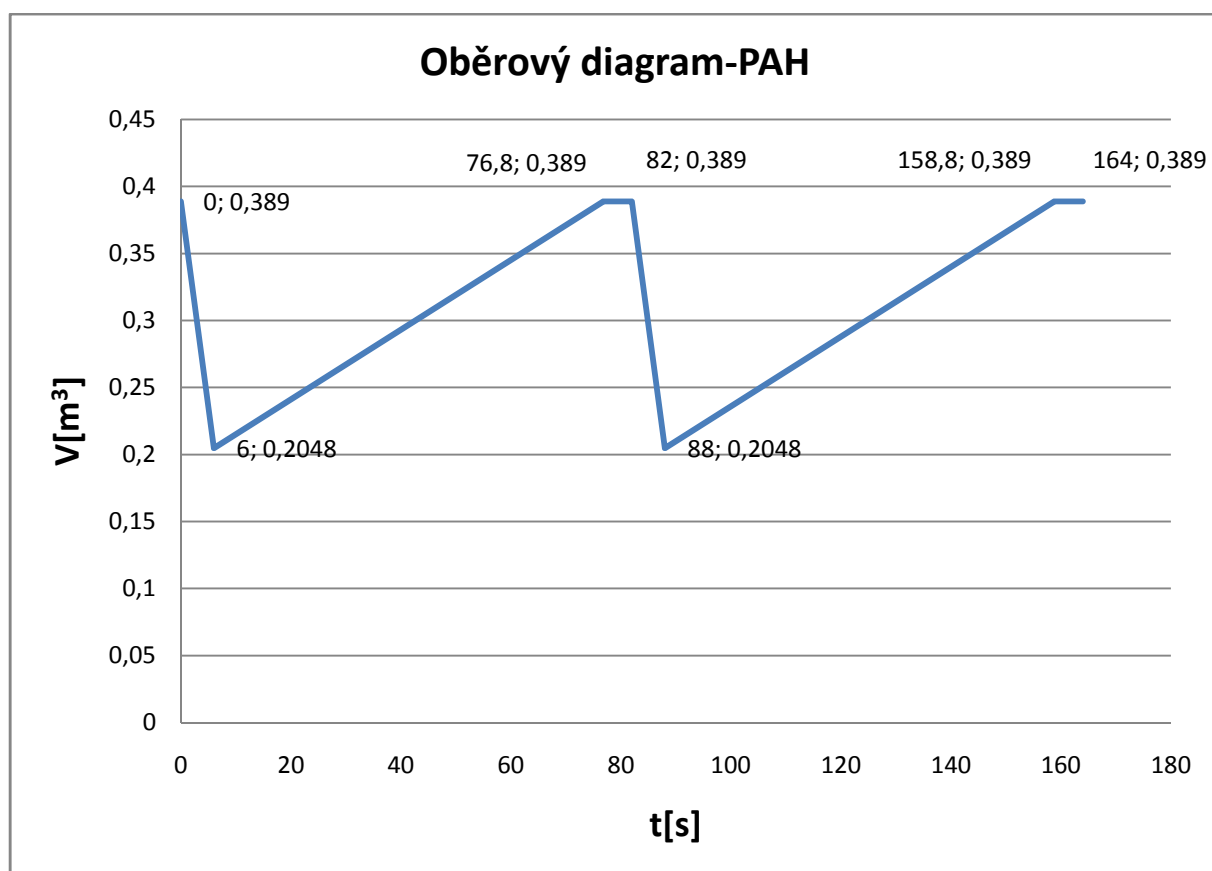
### **Vyhodnocení:**

Při tomto způsobu nedojde k doplnění nádrže před dalším ostřikem, které je požadováno.

Proto je v následující variantě zpracován odběrový diagram pro případ, kdy se čerpadlo spouští se zahájením prvního ostřiku a pracuje na ostřik společně s akumulátorem.

## čerpadlo PAH- čerpadlo začíná pracovat do tlaku od začátku ostříku

	čas	objem	práce čerpadla		
	[s]	[m <sup>3</sup> ]	a	B	c
0	0	0,389			
1	6	0,2048			
2	76,8	0,389			
3	82	0,389			
4	88	0,2048			
5	158,8	0,389			
6	164	0,389			



čerpadlo pracuje do tlaku	76,8 s
čerpadlo pracuje do odpadu	5,2 s
doplnění nádrže	71,8 s
rezerva v nádrži	204,8 l

$$p_{\max} = 20 \text{ MPa}$$

$$Q = 2,6 \text{ l/s} = 0,0026 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P = 52 \text{ kW}$$

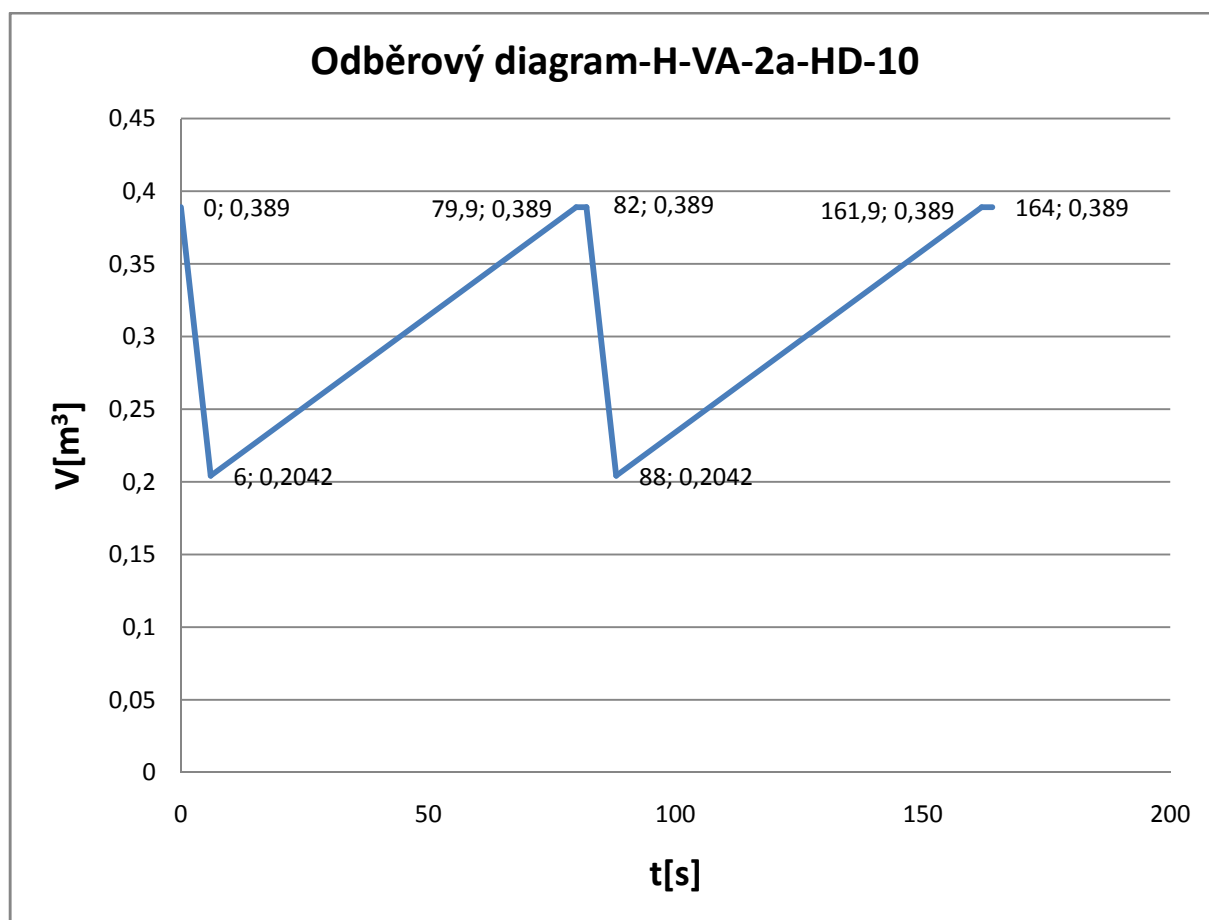
### **Vyhodnocení:**

Způsob, kdy čerpadlo pracuje do tlaku od počátku ostříku je pro řešený případ nejvhodnější.

Čerpadlo PAH současně splňuje požadavek na menší příkon. Katalog viz. příloha.

## čerpadlo H-VA-2a-HD-10- začíná pracovat do tlaku od počátku ostřiku

	čas	objem	práce čerpadla		
	[s]	[m <sup>3</sup> ]	a	b	c
0	0	0,389			
1	6	0,2042			
2	79,9	0,389			
3	82	0,389			
4	88	0,2042			
5	161,9	0,389			
6	164	0,389			



čerpadlo pracuje do tlaku	79,9 s
čerpadlo pracuje do odpadu	2,1 s
doplnění nádrže	74,9 s
rezerva v nádrži	204,2 l

$$H_{\max} = 177 \text{ m}$$

$$Q = 2,5 \text{ l/s} = 0,0025 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P = 9,6 \text{ kW}$$

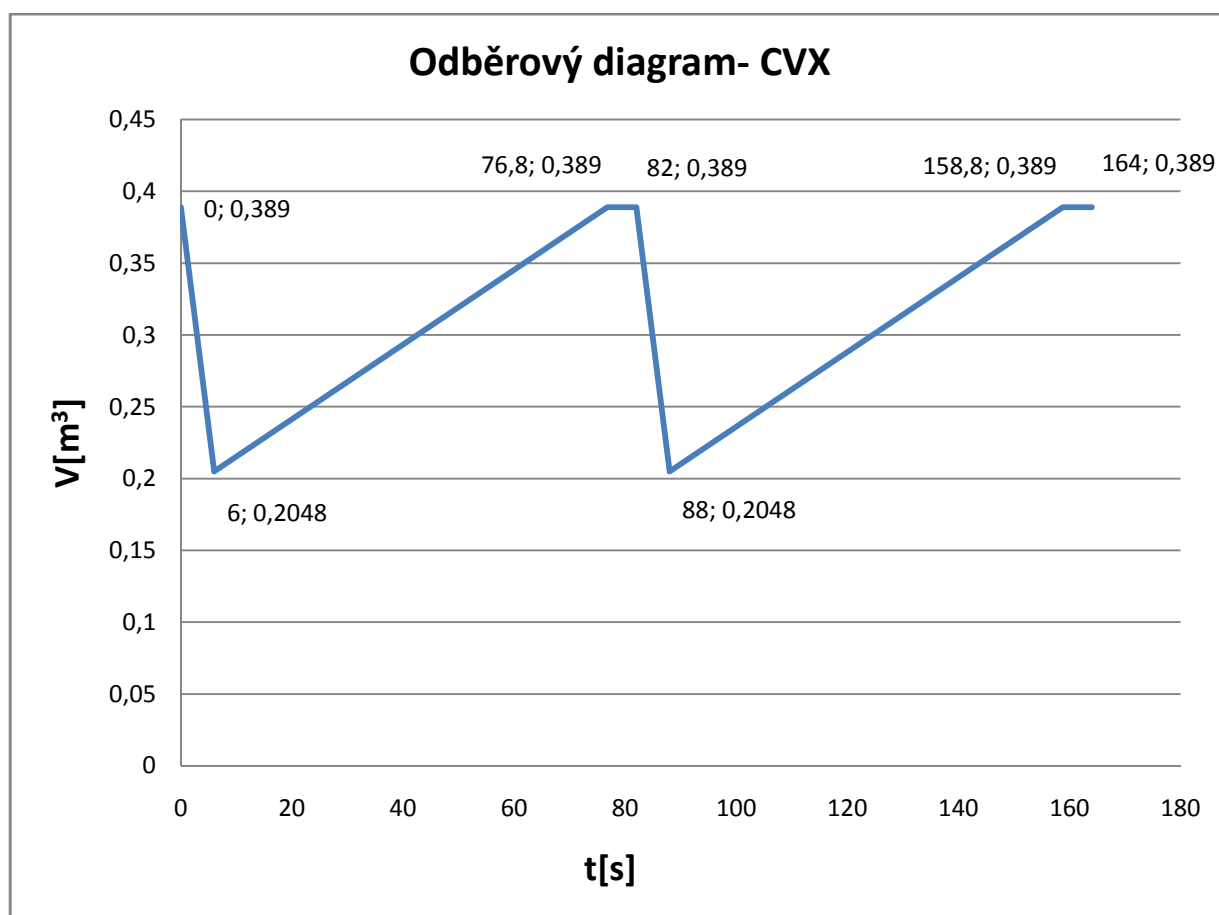
$$m = 133 \text{ kg}$$

### **Vyhodnocení:**

Čerpadlo splňuje požadované parametry a příkon je několika násobně menší než u hydrostatických čerpadel. Ovšem hlavní nevýhoda je uvedená výše. Tento typ je konstruován spíše pro teplejší kapaliny. Katalog viz příloha.

## čerpadlo CVX- začíná pracovat do tlaku od počátku ostříku

	čas	objem	práce čerpadla		
	[s]	[m <sup>3</sup> ]	a	b	c
0	0	0,389			
1	6	0,2048			
2	76,8	0,389			
3	82	0,389			
4	88	0,2048			
5	158,8	0,389			
6	164	0,389			





čerpadlo pracuje do tlaku	76,8 s
čerpadlo pracuje do odpadu	5,2 s
doplnění nádrže	70,8 s
rezerva v nádrži	204,8 l

$$H_{\max} = 170 \text{ m}$$

$$Q = 2,6 \text{ l/s} = 0,0026 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$P = 10,8 \text{ kW}$$

### **Vyhodnocení:**

Čerpadlo splňuje požadované parametry a příkon je několika násobně menší než u hydrostatických čerpadel. Ovšem hlavní nevýhoda je uvedená výše. Katalog viz příloha.

### **Popis funkce akustanice:**

Akumulátor N1 je naplněna na max. hladinu. Začíná ostřík z N1 i čerpadla Č1 po dobu 6 s. Po dokončení ostříku začne Č1 doplňovat pouze nádrž po dobu 76 s. Ovšem čerpadlo typu PAH o průtoku 2,6 l/s nádrž doplní za 71,8 s. Po spojení článku ve stavoznaku ST se přepne ventil a čerpadlo pracuje do odpadu po dobu 5,2 s.

Po úvaze jsem vyhodnotil jako nejvhodnější způsob ostříku ten, kdy čerpadlo začíná pracovat do tlaku od počátku ostříku. Jako další varianty jsem řešil sepnutí čerpadla do tlaku po 1. ostříku anebo až po vyprazdnění nádrže.

## 6. Hydraulický výpočet sítě

V našem případě se jedná o síť větvenou. Síť je prostorová s různou geodetickou výškou uzlů. Je tvořena jednotlivými úseky s konstantním průměrem a drsností. Schéma zadané sítě uvedeno v příloze. Tlakové ztráty jsem spočetl jak pro max. tlak v akumulátoru 15,7 MPa, tak i pro minimální tlak 14,02 MPa.

Zadaná síť může být teoreticky zokruhována propojením dvou uzlů a vytvořením diagonály. V našem případě ovšem zokruhování sítě nemá smysl. Ukázka výpočtu zokruhované sítě je uvedena v Kapitola 3.1.

**Tabulka místních hydraulických odporů**

Index větve	Druh odporu	d	$\lambda$	$\zeta$	$l_e$
		[m]	[1]	[1]	[m]
V1	žádný	0,101	0,0203	0,0	0,000
V2	koleno	0,101	0,0203	0,4	1,990
V3	koleno	0,101	0,0203	0,4	1,990
V4	ručně uzav. ventil	0,101	0,0203	0,5	2,488
V5	koleno	0,101	0,0203	0,4	1,990
V6	minimální ventil	0,101	0,0252	0,5	2,004
V7	redukce	0,056	0,0252	1,0	2,222
V8	koleno	0,056	0,0252	0,4	0,889
V9	minimální ventil	0,119	0,0197	0,5	3,020
V10	koleno	0,119	0,0197	0,4	2,416
V11	koleno	0,119	0,0197	0,4	2,416
V12	šoupátko	0,094	0,0206	0,5	2,282
V13	koleno	0,094	0,0206	0,4	1,825
V14	koleno	0,094	0,0206	0,4	1,825
V15	redukce	0,060	0,0232	0,5	1,293
V16	žádný	0,060	0,0232	0,0	0,000
V17	žádný	0,060	0,0232	0,0	0,000
V18	žádný	0,060	0,0232	0,0	0,000

d.....průměr potrubí

$\lambda$ .....třecí součinitel

$\zeta$ .....součinitel místních ztrát

$l_e$ .....ekvivalentní délka

## Fyzikální údaje sítě

Index větve	profil	DN	l	h	$Q_v$
	[mm]	[mm]	[m]	[m]	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
V1	133x16	125	4,300	0,000	0,0307
V2	133x16	125	2,325	-1,250	0,0307
V3	133x16	125	2,500	-3,575	0,0307
V4	133x16	125	0,550	-3,575	0,0307
V5	133x16	125	0,975	-3,575	0,0307
V6	133x16	125	2,100	-3,850	-0,0026
V7	76x10	65	3,075	-3,850	-0,0026
V8	76x10	65	1,624	-2,290	-0,0026
V9	159x20	150	0,975	-3,850	0,0333
V10	159x20	150	2,300	-3,850	0,0333
V11	159x20	150	1,800	-1,550	0,0333
V12	114x10	100	1,750	-1,550	0,0333
V13	114x10	100	1,215	-0,350	0,0333
V14	114x10	100	0,640	0,270	0,0333
V15	76x8	65	0,370	0,270	0,011
V16	76x8	65	1,350	1,030	0,011
V17	76x8	65	1,350	0,270	0,011
V18	76x8	65	1,350	1,030	0,011

DN.....světlost potrubí

l.....délka větve

h.....geodetická výška uzlů

$Q_v$ .....průtok

## Výpočet tlakových ztrát:

výpočet průřezu potrubí

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (14)$$

výpočet rychlosti proudění vody pomocí rovnice kontinuity

$$Q = v \cdot S \Rightarrow v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} \quad (15)$$

výpočet tlakové ztráty

$$\Delta p = \rho \cdot \left( \lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{v^2}{2} \quad (16)$$

### Postup výpočtu:

Ztráty v jednotlivých větvích jsem postupně odečítal od max. (min.) tlaku v akumulátoru 15,7 MPa (14,02MPa) až do uzlu č.7. Od uzlu č.7 ve větvích 6,7,8 směrem k čerpadlu se ztráty přičítaly. Poté se ztráty od uzlu č.7 směrem k tryskám opět odečítaly.

### Tlakové ztráty pro max. tlak v akumulátoru

S	v	$\Delta p$	$\Delta p$	přetlak v poč. uzlu	přetlak v konc. uzlu
[m <sup>2</sup> ]	[m.s <sup>-1</sup> ]	[Pa]	[Mpa]	[MPa]	[MPa]
0,008012	3,831826	6344,898	0,006345	15,7	15,69366
0,008012	3,831826	6367,249	0,006367	15,69366	15,68729
0,008012	3,831826	9562,049	0,009562	15,68729	15,67773
0,008012	3,831826	10355,43	0,010355	15,67773	15,66737
0,008012	3,831826	13919,12	0,013919	15,66737	15,65345
0,008012	-0,32452	143,434	0,000143	15,65345	15,65359
0,002463	-1,05562	2553,911	0,002554	15,65359	15,65615
0,002463	-1,05562	2412,976	0,002413	15,65615	15,65856
0,011122	2,99406	19100,46	0,0191	15,65345	15,63435
0,011122	2,99406	21876,51	0,021877	15,63435	15,61247
0,011122	2,99406	23298,38	0,023298	15,61247	15,58918
0,006940	4,798424	66582,31	0,066582	15,58918	15,52259
0,006940	4,798424	69837,51	0,069838	15,52259	15,45276
0,006940	4,798424	72991,79	0,072992	15,45276	15,37976
0,002827	3,890454	51787,07	0,051787	15,37976	15,32798
0,002827	3,890454	54654,77	0,054655	15,32798	15,27332
0,002827	3,890454	54654,77	0,054655	15,37976	15,32511
0,002827	3,890454	54654,77	0,054655	15,37976	15,32511

### Tlakové ztráty pro minimální tlak v akumulátoru

S	v	$\Delta p$	$\Delta p$	přetlak v poč. uzlu	přetlak v konc. uzlu
[m <sup>2</sup> ]	[m.s <sup>-1</sup> ]	[Pa]	[Mpa]	[MPa]	[MPa]
0,008012	3,831826	6344,898	0,006345	14,02	14,01366
0,008012	3,831826	6367,249	0,006367	14,0136	14,00723
0,008012	3,831826	9562,049	0,009562	14,00723	13,99767
0,008012	3,831826	10355,43	0,010355	13,99767	13,98731
0,008012	3,831826	13919,12	0,013919	13,98731	13,97339
0,008012	-0,32452	143,434	0,000143	13,97339	13,97353
0,002463	-1,05562	2553,911	0,002554	13,97353	13,97608
0,002463	-1,05562	2412,976	0,002413	13,97608	13,97849
0,011122	2,99406	19100,46	0,0191	13,97849	13,95939
0,011122	2,99406	21876,51	0,021877	13,95939	13,93751
0,011122	2,99406	23298,38	0,023298	13,93751	13,91421
0,006940	4,798424	66582,31	0,066582	13,91421	13,84763
0,006940	4,798424	69837,51	0,069838	13,84736	13,77752
0,006940	4,798424	72991,79	0,072992	13,77752	13,70453
0,002827	3,890454	51787,07	0,051787	13,70453	13,65274
0,002827	3,890454	54654,77	0,054655	13,65274	13,59809
0,002827	3,890454	54654,77	0,054655	13,70453	13,64988
0,002827	3,890454	54654,77	0,054655	13,70453	13,64988

Z výpočtů vyplývá, že ztráty v systému jsou v porovnání s pracovním tlakem cca 15 MPa nízké. V obou případech jsou ztráty téměř totožné ( pro max. tlak: 0,42668 MPa; pro min. tlak: 0,42191 MPa). Nejvyšší tlak je na trysce na větvi č.16 v uzlu č.17. Nejmenší tlaková ztráta je ve větvi č. 6.

## 7. Závěr:

Cílem této bakalářské práce bylo posouzení zařízení pro vysokotlaký ostřík z ohledem na změny, ke kterým došlo při samotné realizaci zařízení a nebyly do studie zapracovány. Změny se týkají tlakového vodního akumulátoru a vzduchového akumulátoru. Na rozdíl od studie byly instalovány větší tlakové nádrže o objemu jedné nádoby  $4,5 \text{ m}^3$ , tím se zvýšil užitečný objem z původní hodnoty  $0,3 \text{ m}^3$  na  $0,389 \text{ m}^3$ . Rovněž byla použita potrubí s jinými průměry, než stanovila studie. Z tohoto důvodu bylo v rámci této bakalářské práce navrženo nové čerpadlo, vypracován nový odběrový diagram a byl upřesněn chod akustanice. Rovněž bylo provedeno posouzení tlakových poměrů a rozložení průtoků v modifikované potrubní síti.

Snahou bylo využít pozitivně tyto změny. Z toho důvodu jsem navrhl čerpadlo typu PAH s menším průtokem  $2,6 \text{ l/s}$  a příkonem  $52 \text{ kW}$  oproti PAR s průtokem  $3 \text{ l/s}$  a příkonem  $75 \text{ kW}$ . Tím dojde k úspoře energie. Také se zvětšila rezerva v nádrži z původních  $117,3$  na  $204,8 \text{ l}$ . Tato rezerva je důležitá např. z důvodu možné poruchy.

Pro daný účel vysokotlakového ostříku okují jsou vhodnější čerpadla hydrostatická, jelikož jsou stavěna na malé průtoky a vysoké tlaky, přitom mají tvrdou charakteristiku. Výhodou systémů s plunžrovými čerpadly při srovnání s čerpadly odstředivými je to, že plunžrová čerpadla mají velmi vysokou účinnost pohybující se kolem  $92\%$ , která bezkonkurenčně překračuje účinnosti odstředivých čerpadel. Naopak čerpadla hydrodynamická jsou vhodná pro větší průtoky a menší tlaky a mají měkkou charakteristiku, takže by musela být navržena s otáčkově regulovaným pohonem pro udržení konstantního průtoku vody při různých tlacích.

## 8. Seznam použité literatury:

[1]

*www.mmspektrum.com : Odstraňování okují vysokotlakým vodním paprskem* [online]. MM publishing, s.r.o , 2002/10/1 [cit. 2008-11-25]. Měsíčník. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/odstranovani-okuji-vysokotlakym-vodnim-paprskem>>.

[2]

Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách pro průmysl zpracování železných kovů. *Postupy a techniky používané při tváření za tepla a za studena* [online]. 2000 [cit. 2008-11-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.ippc.cz/soubory/zelezo/zelezo.html>>.

[3]

STRÁTECKÝ, Pavel. *Systém pro analýzu ostříkové sekce válcovny* [online]. 2006/16/1 [cit. 2008-11-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/06003/index.html#Kapitola1>>.

[4]

Válcování plochých vývalků : Odstranění okují. [online]. 2007 [cit. 2008-11-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.seminarky.cz/Valcovani-plochych-vyvalku-8926>>.

[5]

DRÁBKOVÁ, Sylva. a kol. *Mechanika tekutin*, VŠB-TU OSTRAVA, 2007. Dostupný z WWW:< <http://www.338.vsb.cz/studium9a.htm>>

[6]

VARCHOLA, Michal. *Hydrostatická čerpadla*. Slovenská technická univerzita v Bratislavě : [s.n.], 1992.

LAIKA, Viktor. *Abeceda vodních pohonů : Plunžrové čerpadlo* [online]. 2001- [cit. 2008-12-04]. Dostupný z WWW: <<http://mve.energetika.cz/jineturbiny/plunzrove-cerpadlo.htm>>.

MELICHAR, Jan, BLÁHA , Jaroslav. *Problematika soudobé čerpací techniky*. ČVUT Praha : Česká technika, 2007.

BRADA, Karel, HLAVÍNEK, Petr. *Čerpadla ve vodním hospodářství*. [s.l.] : NOEL, 2000.

PAGICA, A.: *Čerpací technika*. SNTL Praha.

BLÁHA, J., BRADA, K.: *Příručka čerpací techniky*, ČVUT Praha, 1997.

[7]

PLOTICA, Jaromír. *Nabídková studie : Vysokotlaká hydraulická stanice a odokujovací zařízení pro rekonstrukci výroby tl. plechu Válcoven plechu Frýdek-Místek*. [s.l.] : [s.n.], 4-Ev-92 491.

[8]

PETRUŽELKA, J. *Ročníkový projekt. Jak psát bakalářskou práci* [online]. Ostrava> VŠB-TUO, FS, poslední aktualizace 21. 10. 2006 [cit. 2007-04-10]. Dostupný z WWW:<<http://www.345.vsb.cz/KE%20vyuka/Jak%20psát2007.pdf>>

[9]

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

#### **Zahraniční zdroje:**

<<http://www.animatedsoftware.com/elearning/All%20About%20Pumps>>

<[http://www.engineersedge.com/pumps/pump\\_menu.shtml](http://www.engineersedge.com/pumps/pump_menu.shtml)>